

## MODELAGEM DE UM SISTEMA DE BATERIA LÍTIO-ÍON PARA ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM UM SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Bianca Andrade Galvão<sup>1</sup>; Thamiles Rodrigues de Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Computação; Iniciação científica – CNPq; biancandradegalvao@outlook.com

<sup>2</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; thamiles.melo@doc.senaicimatec.edu.br

### RESUMO

A geração de energia renovável tem impulsionado a necessidade de sistemas eficientes de armazenamento, como as baterias de lítio-íon. Este estudo analisa a modelagem dessas baterias em sistemas híbridos de energia renovável (HRES). Foi feito o estudo inicial da literatura para entender que a vida útil da bateria depende da demanda energética, influenciando seu ciclo de vida e custos. O ambiente MATLAB/Simulink foi escolhido para simular o modelo padrão de uma bateria, com parâmetros específicos do tipo lítio-íon, mostrando curvas de descarga e carga. Os resultados destacaram a capacidade das baterias em suprir demandas variáveis, para garantir a estabilidade do sistema HRES. Os próximos passos incluem a integração dos blocos conversores de potência para simulações mais abrangentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema Híbridos; Bateria; Armazenamento de energia; Geração de energia.

### 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia renovável tem se tornado cada vez mais relevante no cenário energético global. No entanto, a natureza intermitente de fontes renováveis, como a energia eólica e solar, requer soluções eficazes de armazenamento de energia. Nesse contexto, os sistemas de armazenamento de energia por bateria (do inglês, *Battery Energy Storage Systems* - BESS) desempenham um papel crucial<sup>1</sup>.

As baterias recarregáveis, especialmente as de lítio-íon, são dispositivos eletroquímicos que têm a capacidade de converter energia elétrica em energia química durante o carregamento e reverter esse processo durante o descarregamento. Essa característica as tornam uma opção viável para armazenar energia excedente gerada por fontes renováveis, quando a produção excede a demanda<sup>1</sup>.

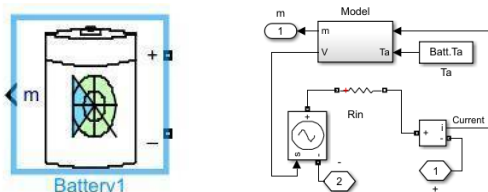
Além disso, o sistema BESS pode fornecer energia ao sistema híbrido de energia renovável (do inglês, *Hybrid Renewable Energy Systems* - HRES) em situações em que as fontes renováveis estão operando com baixa eficiência, estão fora de operação ou em casos de falhas na rede elétrica. Isso garante uma oferta constante e confiável de energia, independentemente das condições operacionais<sup>1,2</sup>.

Neste trabalho, buscou-se caracterizar um sistema de bateria de lítio-íon para modelagem do sistema de armazenamento de uma planta híbrida de geração de energia para entender melhor o desempenho e as limitações dessas baterias dentro do contexto de um HRES, permitindo uma operação mais eficiente e confiável do sistema como um todo.

### 2. METODOLOGIA

Um estudo inicial de revisão de literatura foi necessário para entender um modelo já pronto que existe no ambiente MATLAB/Simulink. O bloco "Battery" implementa um modelo dinâmico genérico que representa os tipos mais populares de baterias recarregáveis. Este modelo é baseado em um circuito equivalente, do tipo não linear, cujos parâmetros podem ser modificados para representar um tipo específico de bateria e suas características de descarga, dessa forma, foi escolhido o modelo de íon-lítio devido ser o mais utilizado para HRES. A estrutura do modelo de circuito consiste apenas em uma fonte de tensão controlada ( $V_{oc}$ ) em série com a resistência interna ( $R_{in}$ ), e em elementos básicos como a corrente de carga/descarga e o estado de carga (SOC)<sup>3</sup>.

**Figura 1.** Imagem do bloco "Battery" e circuito interno que representa o comportamento da bateria.



Fonte: MATLAB R2020a.

O SOC é uma medida da carga da bateria, expressa como uma porcentagem da carga total. A profundidade de descarga (DOD) é o complemento numérico do SOC, de modo que  $DOD = 100\% - SOC$ . Sabe-se que a validação experimental do modelo mostra um erro máximo de 5% (quando o SOC está entre 10% e 100%) para as dinâmicas de carga (quando a corrente é de 0 a 2 A) e descarga (quando a corrente é de 0 a 5 A). Com isso, o comportamento das baterias desse tipo é representado pela Equações (1) e (2) dependendo da situação predisposta<sup>4</sup>.

Modelo de Descarga ( $i^* > 0$ ):

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (1)$$

Modelo de Carga ( $i^* < 0$ ):

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (2)$$

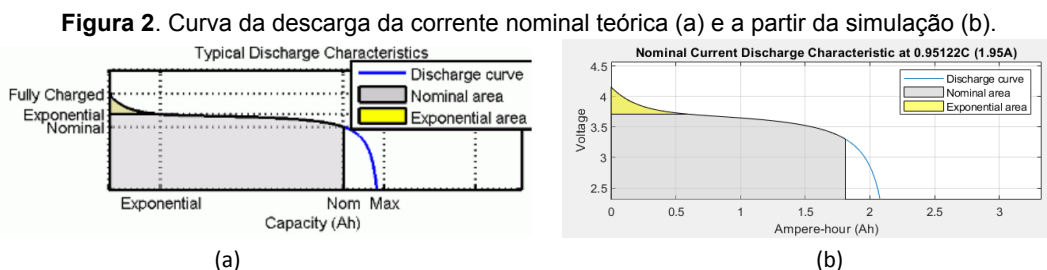
onde:  $E_0$  se trata da tensão constante,  $K$  é a constante de polarização em V/Ah ou resistência de polarização em Ohms,  $i^*$  é a dinâmica de corrente de baixa frequência em A,  $i$  é a corrente da bateria em A,  $it$  é a capacidade extraída em Ah,  $Q$  é a capacidade máxima da bateria em Ah,  $A$  é a tensão exponencial em V e  $B$  é a capacidade exponencial em  $Ah^{-1}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo toda lógica descrita anteriormente, foi realizada a simulação do modelo de bateria com a carga após ter sido feita a descarga. Como estudo de caso, foram utilizados os parâmetros extraídos das fichas técnicas da bateria Panasonic Lithium-Ion CGR18650AF, conforme apresentado na Tabela 1. Na Figura 3 a seguir apresentam-se os gráficos extraídos da simulação que teve como base o *datasheet* do modelo lítio-ion oferecido por meio do MATLAB.

**Tabela 1.** Lista de parâmetros utilizados na simulação do modelo de bateria<sup>2</sup>.

Tensão nominal (c)	Capacidade nominal	Capacidade máxima (d)	Tensão totalmente carregada (a)	Corrente descarga nominal	Resistência interna	Capacidade tensão nominal (c)	Zona exponencial (b)
3.3 V	2.05 Ah	2 Ah	4.2 V	1.95 A	16.5 m $\Omega$	1.81 Ah	[3.71 V, 0.6 Ah]
Temperatura ambiente nominal	Segunda temperatura a ambiente	Capacidade máxima a 0°C (h)	Tensão de descarga inicial a 0°C (e)	Tensão a 90% da capacidade máxima a 0°C (g)	Zona exponencial a 0°C (f)	Resistência térmica, célula-para-a ambiente	Constante de tempo térmico, célula-para-a ambiente
25°C	0°C	1.78 Ah	4 V	3.11 V	[3.8 V, 0.2 Ah]	0.06	1000



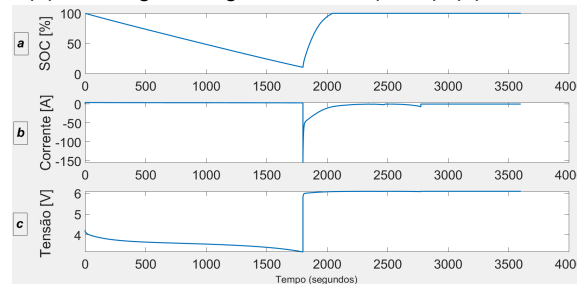
Fonte: Autoral através do MATLAB R2020a.

Em relação às características de carga e descarga, sabe-se que os parâmetros do circuito podem ser modificados para representar um tipo específico de bateria. Uma curva típica de descarga consiste em três seções, como a apresentada através da Figura 2(a). A primeira seção representa a queda exponencial de tensão quando a bateria está sendo carregada. A largura da queda depende do tipo de bateria. A segunda seção representa a carga que pode ser extraída da bateria até que a tensão caia abaixo da tensão nominal da bateria. Por fim, a terceira seção representa a descarga total da bateria, quando a tensão cai rapidamente. Quando a corrente da bateria é negativa, a bateria recarrega, seguindo uma característica de

carga<sup>2</sup>. Com isso, analisando a curva da Figura 2(b) é visível a semelhança do comportamento, sendo possível dessa forma validar a simulação desenvolvida.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de simulação de descarga e carga da bateria de lítio-íon usada. Na Figura 3(b) pode-se observar que a corrente elétrica que flui através da bateria permanece estável e próxima a zero, no intervalo de tempo inferior a 1800 segundos, indicando que a bateria está fornecendo energia ao dispositivo conectado; na carga, há uma inversão de polaridade da corrente, até que o valor em regime permanente seja alcançado novamente. Após o tempo de 1800 segundos, à medida que o SOC diminui na Figura 3(a), a tensão também diminui gradualmente na Figura 3(c); e durante a carga, a tensão aumenta substancialmente até o valor nominal, à medida que a bateria se recarrega.

**Figura 3.** Curvas de simulação: (a) Descarga e carga da bateria (SOC), (b) Corrente Elétrica e (c) Tensão Elétrica.



Fonte: Autoral através do MATLAB R2020a.

Devido à natureza estocástica dos recursos de energia renovável, a bateria pode experimentar ciclos profundos frequentes e padrões de carregamento irregulares. Além disso, devido às variações sazonais, a bateria pode experimentar um estado de carga (SOC) baixo por um período prolongado. Essa inconsistência no carregamento e descarregamento causa uma diminuição na vida útil da bateria, que consequentemente causa um impacto significativo no custo do ciclo de vida total do HRES. Se considerar um sistema fotovoltaico (PV) autônomo, as baterias do sistema podem representar mais de 40% do custo do ciclo de vida. Portanto, aumentar o ciclo de vida da bateria resultará em uma melhoria significativa na confiabilidade e diminuição no custo do ciclo de vida<sup>2</sup>.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura permitiu identificar os parâmetros da bateria para o desenvolvimento do modelo nos dois tipos possíveis de situação: carga e descarga. Os resultados parciais demonstraram a efetividade da aplicação do bloco “battery” em um HRES, suprimindo tanto a demanda de armazenamento, quando as outras fontes produzissem além da demanda necessária, como a de descarga para suprir uma suposta falta na produção de energia gerada através do sistema fotovoltaico e eólico.

A próxima etapa se trata do aprofundamento deste estudo, consistindo na modelagem e simulação dos blocos conversores de potência, além da integração de todas as fontes de energia no Simulink, que permitirá avaliar o desempenho da planta híbrida do projeto Chesf em diferentes pontos de operação.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro na realização deste trabalho.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> GAJEWSKI, Piotr; PIENKOWSKI, Krzysztof. **Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage.** *Energies*, v. 14, n. 6, p. 1595, 2021.
- <sup>2</sup> BHANDARI, Binayak et al. Mathematical modeling of hybrid renewable energy system: A review on small hydro-solar-wind power generation. **international journal of precision engineering and manufacturing-green technology**, v. 1, p. 157-173, 2014.
- <sup>3</sup> GAJEWSKI, Piotr; PIENKOWSKI, Krzysztof. Control of the hybrid renewable energy system with wind turbine, photovoltaic panels and battery energy storage. **Energies**, v. 14, n. 6, p. 1595, 2021.
- <sup>4</sup> MathWorks. **Battery. Generic Battery Model.** R2023b. Disponível em: <[https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/battery.html?s\\_tid=doc\\_ta](https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/battery.html?s_tid=doc_ta)>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.